

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

VINICIUS HAAS ILGENFRITZ

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO GELCOAT DE LAMINADOS
NA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALGADA

Joinville

2018

VINICIUS HAAS ILGENFRITZ

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO GELCOAT DE LAMINADOS
NA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALGADA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Naval, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Dr. Gabriel Benedet Dutra

Joinville

2018

VINICIUS HAAS ILGENFRITZ

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO GELCOAT DE LAMINADOS
NA ABSORÇÃO DE ÁGUA SALGADA

Este trabalho foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Naval pela comissão examinadora e pelo curso de graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville/SC, 28 de junho de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. Gabriel Benedet Dutra, Dr. Eng.
Orientador/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cristiano da Silva Teixeira, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville
2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem agradeço pelo sentido da minha vida e do meu caminho até aqui traçado a Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Elci Haas Mello e Gilvan Mello, pelo amor incondicional dado a mim, pelos exemplos de vida que são e por todo incentivo aos estudos que me deram.

A minha noiva, Priscila Ribeiro Faria, que me apoiou, com amor, sobre todas as circunstâncias, sendo que, muito do êxito deste trabalho se deve a este apoio.

Ao meu orientador, Gabriel Benedet Dutra, por todo auxílio, paciência e dedicação que proporcionou a elaboração deste trabalho.

A minha banca, Gabriel Benedet Dutra, Ricardo Aurélio Quinhões Pinto e Cristiano da Silva Teixeira, que aceitaram de bom grado avaliar este trabalho.

A Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores que até aqui me guiaram a minha formação.

Aos amigos, Carlos Eduardo de Souza, Marcos de Araújo, Camila Ribeiro Faria, Ebner Pikisius e Raquel Patrícia Alvim, por estarem presentes em minha vida e de alguma forma colaborarem com este trabalho.

“Grandes coisas fez o Senhor por nós,
e, por isso, estamos alegres.”

Salmos 126:3

RESUMO

O uso de materiais compósitos na fabricação de barcos se tornou algo muito comum na indústria náutica. E, por estes materiais estarem em constante contato com ambientes úmidos, salinos e variações bruscas de temperaturas, não conseguem preservar sua integridade por completo. Para que as propriedades e a aparência do material compósito possam ser preservadas, faz-se necessária a produção de uma camada protetora sobre a embarcação. A camada dá-se o nome de *gelcoat* que corresponde a uma tinta à base de resina ortoftálica. Para que haja a certificação quanto às propriedades do *gelcoat*, existem alguns experimentos que podem ser realizados, reproduzindo um ambiente salino, de forma que possa quantificar ou qualificar a eficácia do produto. Portanto, este trabalho visa quantificar a capacidade do *gelcoat* em reter água, quando sua camada possui espessuras diferentes. Para os testes foi utilizado um aparato experimental que proporcionou um ambiente favorável para aceleração e degradação das peças analisadas. Para realização do experimento foram elaborados quatro corpos de prova, com espessuras de *gelcoat* de 0,2; 0,3; 0,5 e 0,7 milímetros. Os dados foram obtidos dia após dia, onde os corpos de provas, submetidos aos testes, foram pesados, tendo em vista a quantidade de água absorvida, gradualmente, pela peça e, foi analisada, de modo visual e microscópico, a degradação nas placas. Os resultados mostraram que houve um mecanismo concomitante de ganho de massa devido à absorção de água e perda de massa devido à degradação e hidrólise da resina em todos os laminados. Além disso, os compósitos sofreram amarelamento em virtude da degradação superficial das peças em contato com água. Não foi possível identificar diferenças significativas na característica de aumento de peso, decorrente da absorção de água, nas amostras avaliadas, dentro da faixa de espessuras de *gelcoat* testadas.

Palavras-chave: *Gelcoat*. Absorção de água. Material compósito. Aparato experimental. Envelhecimento acelerado.

ABSTRACT

The use of composite materials in the manufacturing of boats have become a conventional occurrence in the nautical industry. And because this materials are always in contact with humid environments, saline and abrupt temperature variations, they are not able to preserve their full integrity. To preserve the properties and appearance of the composite material, it is necessary to produce a protection layer upon the vessel. The layer is called gelcoat, a orthophthalic resin based paint. To be sure of the gelcoat properties, there are some experiments that can reproduce a saline environment, in the way that it can be qualify or quantity the efficiency of the product. Therefore, this essay aims to quantify the capacity of the gelcoat in retain water when its layers have different thicknesses. For the tests, a experimental apparatus was used, that produced a favorable environment to the acceleration and degradation of the analyzed pieces. To perform the experiment, four samples were made, with gelcoat thicknesses of 0.2; 0.3; 0.5; 0.7 millimeters. The data were obtain day after day, where the samples, when submitted to the tests, were measured, observed for the amount of water absorbed gradually by the pieces and analyzed visually and microscopically the degradation of the slabs. The results showed that there was a concomitant mechanism of mass gain due to the water absorption and a mass loss due to the degradation and resin hydrolysis in all the laminates. Besides that, the composites suffered a yellowing resulting from the superficial degradation of the pieces in contact with water. It was not possible to identify significant differences in the increasing of the weigh characteristic, due to the water absorption in the evaluated samples, within the range of tested gelcoat thicknesses.

Keywords: Gelcoat. Water absorption. Composite material. Experimental apparatus. Accelerated aging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Cadeias poliméricas com Ligações cruzadas. Os pontos de entrecruzamento, denotados por um ponto preto, são constituídos por ligações covalentes primárias, intramoleculares.....	16
Figura 2.2 Configuração da resina poliéster insaturada ortoftálica	18
Figura 2.3 aparato de teste de osmose da literatura.	22
Figura 2.4 – Exemplo de gráfico de absorção da água em um compósito, relacionando a taxa do aumento de massa em relação ao tempo de experimento.	23
Figura 2.5 Exemplo de amarelamento em gelcoat	23
Figura 3.1 Micrômetro usado para medir espessura das fitas.	25
Figura 3.2 corte da fibra de vidro utilizada	26
Figura 3.3 Preparo do molde de vidro e dos gabaritos de fitas.	26
Figura 3.4 Aplicação do gelcoat.	27
Figura 3.5 Retirada do excesso de gelcoat com um esquadro.	27
Figura 3.6 - Esquema da sequência de laminação: 1. Molde; 2. Desmoldante; 3. Gabarito de fitas; 4. Gelcoat; 5. Véu de superfície; 6. Manta de fibra de vidro.....	28
Figura 3.7 Uma das amostras laminada completamente	28
Figura 3.8 Aparato desenvolvido por Tavares (2016).	30
Figura 3.9 Apresentação das alterações realizadas no aparato.	31
Figura 3.10 Sequência de procedimentos do teste de absorção de água	32
Figura 4.1 Corpos de provas já confeccionados	33
Figura 4.2 CPs com as mantas coladas e cada placa de metal.....	34
Figura 4.3 apresentação de trincas na peça F5	34
Figura 4.4 - Rachadura na peça F5 em microscópio; imagem aumentada 5X.	35
Figura 4.5 Fotos retiradas do microscópio de medição das amostras	35
Figura 4.6 Gráfico global do teste de absorção de água.....	40
Figura 4.7 Gráfico local da primeira semana de medição de absorção de água.....	41
Figura 4.8 Padrão de amarelamento das amostras.....	42
Figura 4.9 - Mancha de amarelamento aumentado 20X no microscópio	42
Figura 4.10 Presença do óxido de ferro na água marinha	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Tabela da composição de fibra de vidro tipo E	14
Tabela 2.2 Características de resistência da resina de poliéster	17
Tabela 2.3 Componentes do gelcoat ortoftálico e suas características.....	19
Tabela 2.4 Tabela de problemas com gelcoat.....	20
Tabela 3.5 materiais utilizados na confecção dos corpos de prova.	24
Tabela 4.6 Apresentação das 3 medições das espessuras para cada amostra e suas respectivas medias.....	36
Tabela 4.7 Média final das espessuras medidas e seus desvios padrões	36
Tabela 4.8 Comparação das espessuras estipuladas com as obtidas	37
Tabela 4.9 Medições de massa das peças em intervalos em dias	38
Tabela 4.10 Taxa de absorção de água dos CPs em intervalos em dias	39

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CP – Corpo de Prova

EVA – Acetato-Vinila de Etileno

FV – Fibra de Vidro

M – Taxa do aumento de massa na amostra em porcentagem

MEKP – Peróxido de Metil-Etil-Cetona

NPG – Neo Pentil Glicol

PVA – Álcool Polivinílico

RTM – Resin Transfer Molding

SOCIESC – Sociedade Educacional de Santa Catarina

t – Tempo em dias

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVOS.....	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.2. Objetivos Específicos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS	13
2.1.1. Laminação manual	14
2.1.2. Fibra de vidro	14
2.1.3. Matriz termofixa	15
A tabela 2.2 apresenta características de resistência da resina de poliéster.	17
2.1.4. Gelcoat	18
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	24
3.1. MATERIAL	24
3.2. METODOLOGIA	25
3.2.1. Preparação dos Corpos de Prova	25
3.2.2. Medição de espessura das amostras	29
3.2.3. Equipamento de Testes	29
3.2.4. Modificação do aparato	30
3.2.5. Medição de absorção de água através do envelhecimento acelerado	31
3.2.6. Inspecção visual das amostras	32
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
4.1. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	33
4.2. MEDIÇÃO DAS ESPESSURAS	35
4.3. TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO	37
4.4. AMARELAMENTO	41
5. CONCLUSÃO.....	44
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Na aquisição de uma lancha ou de um iate, a aparência é um dos principais fatores analisados pelo comprador. Por isso, é de fundamental importância que a qualidade da superfície de uma embarcação de material compósito proporcione, não só qualidade em seu acabamento, como também resistência a ambientes adversos, mantendo a aparência da embarcação adequada. Para que essas qualidades sejam aplicáveis na indústria náutica, um componente químico termofixo, denominado *gelcoat*, é utilizado a fim de evitar a degradação nesses laminados.

Segundo Nasseh (2008, p 20) a definição de *gelcoat* é a: “[...] camada superficial aplicada antes da primeira laminação de fibra e resina e tem a finalidade de proteger o laminado das intempéries e dos raios UV, além de criar um aspecto cosmético agradável.”

Este componente é constituído por inúmeros materiais tendo, como base resina poliéster insaturada, agentes tixotrópicos, pigmentos, cargas especiais, absorvedores de ultravioleta (UV) e aditivos desaerantes. Seu objetivo é realizar diretamente um bom acabamento sobre a superfície das peças *fiberglass*, substituindo a pintura convencional e protegendo o laminado contra intempéries e umidade (FORTE, 2014).

Um dos problemas enfrentados pela indústria náutica, ainda nos dias de hoje, é a entrada de água em laminados. Mesmo o *gelcoat* tendo componentes resistentes à hidrólise, como por exemplo o Neo Pentil Glicol (NPG), não consegue evitar por completo a impregnação de umidade nesses laminados.

Além disso, os efeitos da umidade presente na atmosfera devem ser sempre considerados nos projetos de laminados estruturais. A umidade penetra na matriz polimérica pelo processo de difusão até que a concentração de equilíbrio seja atingida, sendo esse mecanismo acentuado pelo aumento da temperatura. Neste caso, a umidade pode causar a expansão volumétrica da matriz polimérica, gerando pequenas variações dimensionais e tensões internas. (FARIA, 2008, p 22)

Com o crescimento do setor náutico, houve aumento também na produção de *gelcoat*. Isso fomentou uma necessidade de controle quanto à capacidade do produto em proporcionar qualidade e preservação prometidas ao comprador acerca da embarcação. Por este motivo os testes nestes produtos são indispensáveis, mantendo assim o padrão de qualidade, evitando problemas futuros e garantindo ao cliente um produto de boa qualidade.

A fim de certificar a qualidade do *gelcoat*, será realizada uma pesquisa de caráter experimental, cujos testes serão medidos e avaliados na mudança de uma variável, a espessura da camada de *gelcoat* que será reproduzida nos corpos de prova. Submetendo-os a condições agressivas em um ambiente controlado através de um equipamento que reproduza tais condições ambientais. O equipamento utilizado será o desenvolvido por Tavares (2016). Todos os testes serão realizados no Laboratório de Ensaaios Mecânicos da Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Blumenau.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a absorção de água da camada de *gelcoat*, com espessuras diferentes, laminados com reforços de fibra de vidro e resina poliéster, sendo submetidas a um envelhecimento acelerado.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estabelecer um método para reproduzir uniformemente a espessura de *gelcoat* desejada nas amostras;
- Melhorar a performance do aparato desenvolvido por Tavares (2016).
- Quantificar a massa de água adquirida pela peça em função do tempo de experimento;
- Inspeção visual da qualidade das amostras após o ensaio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entender o que foi realizado neste trabalho é necessário compreender algumas definições. Estas definições serão apresentadas a seguir através do método dedutivo, ou seja, os assuntos abordados neste tópico partirão de um aspecto global para um aspecto local. (PRODANOV; FREITAS, 2013).

2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos na indústria náutica são em sua maioria de caráter estrutural, de duas ou mais fases macroscópicas, onde suas propriedades mecânicas são melhores do que se as fases estivessem separadas. O compósito polimérico trata-se de uma união de reforço e matriz orgânica. (LIMA, 2010).

Segundo Lima (2010), as matrizes orgânicas termofixas, mais conhecidas como resinas, são responsáveis por fazer a união física dos reforços, transmitir as cargas mecânicas para o reforço, permitir um acabamento e garantir a impermeabilidade do material. Os reforços na figura da fibra são capazes de absorver as cargas mecânicas aplicadas, garantir a rigidez, a resistência mecânica e a estabilidade térmica. Em atividades navais os reforços e resinas mais comumente utilizados são, respectivamente, fibra de vidro e resina poliéster.

A aplicação destes materiais compósitos na indústria náutica modificou por completo o modo de suas construções, opondo-se ao modo de uso de madeira e materiais metálicos, pois ao contrario destes, precisa-se de mão de obra menos intensa. Os materiais compósitos são fáceis de serem processados, complementam leveza e resistência à peça, possuindo fácil reparação e não exigindo muito na hora da manutenção (NASSEH, 2011).

Existem diversos métodos de construção de produtos em compósitos de fibra de vidro, entre eles estão os métodos modernos, tais como: laminação a vácuo, infusão e *Resin Transfer Molding* (RTM), e os métodos mais arcaicos como a laminação manual que é o mais comum dentre os métodos (NASSEH, 2008). Neste trabalho, as amostras serão confeccionadas via laminação manual, conforme será abordado no próximo tópico.

2.1.1. Laminação manual

O processo mais antigo e de menor custo a ser aplicado na formação do material compósito é a laminação manual, também conhecida como *hand lay-up*. Este processo consiste em alocar vários reforços sobre um molde e em seguida aplicar a resina sobre as fibras. Isto é realizado com o próprio esforço físico dos trabalhadores, no intuito de dispersar ao máximo a resina, para que fique uniforme, e esperar a polimerização final da resina. (NASSEH, 2008).

2.1.2. Fibra de vidro

As fibras de vidro (FV) tem como objetivo suportar os carregamentos de tração nas peças de laminado. São produzidas de diversas composições químicas, sendo as variações destes componentes uma forma de alterar as propriedades mecânicas e químicas. Os diferentes tipos de FV são nomeados com letras do alfabeto. Porém, o tipo de fibra de vidro que mais interessa para a construção de barcos é o tipo E.

“O vidro do tipo E tem baixo teor alcalino, boa resistência à tração e relativamente boa rigidez em relação à flexão. Os filamentos usados são produzidos num diâmetro entre 10 e 21 microns.” (NASSEH, 2011, p. 66). A tabela 2.1. expõe a composição típica da fibra de vidro tipo E.

Tabela 2.1 Tabela da composição de fibra de vidro tipo E

Composição	FV tipo E (%)
SiO ₂	52,4
Al ₂ O ₃ ; Fe ₂ O ₃	14,4
CaO	17,2
MgO	4,6
Na ₂ O; K ₂ O	0,8
B ₂ O ₃	10,6

Fonte: Adaptado de Nasseh (2011, p. 67).

O tipo E, por ter um bom custo benefício, é considerado muito efetivo como reforço, isto se comparado a outras alternativas. Nos tópicos seguintes serão abordadas formas comerciais de fibra de vidro usuais na indústria náutica.

2.1.2.1. Manta

As mantas são um tipo de reforço mais comumente utilizado na construção náutica, pois, além de possuírem baixo custo no mercado, impregnam facilmente a resina. As mantas são compostas de *rovings* de fibra de vidro picotadas e distribuídas de forma aleatória. É um material quase isotrópico, por possuir as propriedades praticamente iguais em todas as direções. O módulo de elasticidade e a resistência alcançada com as mantas ocorrem devido suas descontinuidades e pelo baixo teor de fibra encontrado em seus laminados. (NASSEH, 2011).

2.1.2.2. Véu de superfície

Segundo Nasseh (2011), o véu de superfície é um tipo de manta de FV muito fino, utilizado como a primeira camada do laminado, para dar um aspecto suave a superfície. Sua função se caracteriza, também, como uma barreira química, pois a camada de véu possui uma proporção fibra/resina que garante essa capacidade de barreira química de 5% de fibra de vidro para 95% de resina.

2.1.3. Matriz termofixa

As matrizes de compósitos são responsáveis pela proteção dos reforços (fibra de vidro), de provável exposição a ambientes impróprios, e a ligação entre os mesmos, proporcionando a transmissão da tensão aplicada externamente. (CALLISTER, 2005).

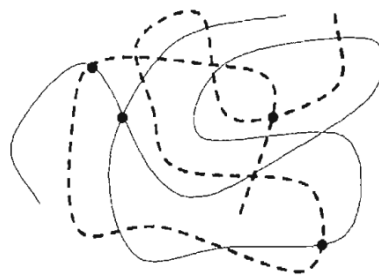
Segundo Canevarolo (2002), matriz termofixa, ou termorrígida, é um plástico que sofre, durante a polimerização, um processo de cura que se caracteriza como uma transformação química irreversível. Esse processo é possível por causa das ligações cruzadas

entre as principais cadeias, provocando assim, a solidificação do material. Dois dos principais exemplos são a resina de poliéster e a resina epóxi.

2.1.3.1. Ligações cruzadas

As ligações cruzadas são ligações covalentes entre as cadeias da matriz, mantendo essas ligações unidas por uma força primária. Tais cadeias são amarradas por essas ligações, impedindo que haja o seu deslizamento. Inicialmente, os termofixos se encontram no estado líquido, porém, durante a formação das ligações cruzadas, entram no ponto de gel e gradativamente passam a endurecer tornando-se, por fim, sólido e rígido. De acordo com a imagem 2.1, podemos observar um conjunto de cadeias poliméricas, onde, os pontos apresentados, denotam uma ligação cruzada entre elas (CANEVAROLO, 2000).

Figura 2.1 Cadeias poliméricas com Ligações cruzadas. Os pontos de entrecruzamento, denotados por um ponto preto, são constituídos por ligações covalentes primárias, intramoleculares



Fonte: Canevarolo (2000) p.44

Neste contexto, Canevarolo (2000) ainda cita que, para quebrar uma ligação cruzada, é necessária uma grande quantidade de energia, que poderia ser suficiente para desconstruir as cadeias poliméricas.

2.1.3.2. Resina de poliéster

Segundo Nasseh (2008), a resina de poliéster tem como estrutura básica três componentes principais: ácido insaturado, responsável pelos pontos reativos com as ligações duplas; glicol, que proporciona o aumento da cadeia polimérica; e, ácido saturado, que é responsável pelo grau de espaçamento entre os ácidos insaturados.

A tabela 2.2 apresenta características de resistência da resina de poliéster.

Tabela 2.2 Características de resistência da resina de poliéster

Matriz	Massa volumétrica (kg/m ³)	Módulo de elasticidade (MPa)	Módulo de cisalhamento (MPa)	Coefficiente de poisson	Tensão de ruptura à tração (MPa)	Alongamento à ruptura (%)	Coefficiente de dilatação térmica (°C ⁻¹)	Temperatura limite de utilização (°C)
Poliéster	1200	4000	1400	0,4	80	2,5	8.10	60 a 200

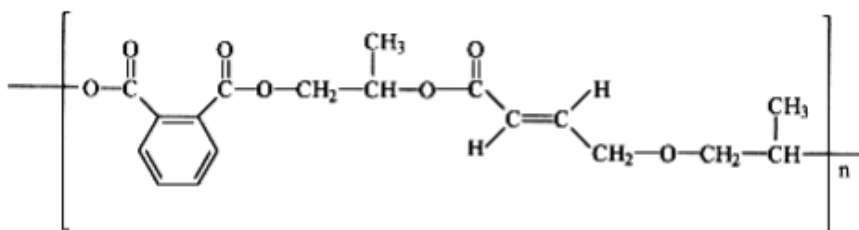
Fonte: adaptado de PEREIRA, 2003, p.8

Dentre as resinas existentes, a mais comumente utilizada, é a resina de poliéster ortoftálica, devido ao seu baixo custo.

A resina de poliéster ortoftálica é um dos ácidos saturados mais utilizados. Origina-se de um ácido ftálico e apresenta um grupo de carboxilas na posição orto do anel benzênico (MORRISON; BOYD, 1990). A resina ortoftálica tem as propriedades mecânicas inferiores as demais resinas de poliésteres, devido à dificuldade de adquirir maiores pesos moleculares, tornando suscetível a ataques químicos (BANAS, 1989).

Esses tipos de resina são, em geral, menos viscosos e com menor comprimento de cadeia molecular, isso, comparado a uma resina de poliéster do tipo isoftálica, a imagem 2.2 mostra a configuração da resina de poliéster ortoftálica.

Figura 2.2 Configuração da resina poliéster insaturada orto-ftálica



Fonte: Gorninski (2002) p. 64

2.1.4. Gelcoat

Gelcoats são responsáveis pela cobertura da camada mais externa de um laminado de fibra de vidro e corresponde a uma mistura de resina de poliéster e inúmeras cargas minerais. Segundo Nasseh (2011), o *gelcoat* é responsável por proteger o laminado das intempéries e proporcionar um excelente aspecto visual a peça. Porém, para que isso ocorra o material deve possuir uma série de características e cuidado na aplicação.

Gelcoat é qualquer cobertura de resina não reforçada que constitui a superfície de peças laminadas em poliéster reforçado com fibras de vidro. Os "GelCoats" são uma série de materiais formulados a base de resinas poliéster insaturadas, agentes tixotrópicos, pigmentos, cargas especiais, absorvedores de UV, aditivos desaerantes, auto-nivelantes etc. Sua função é promover acabamento superficial às peças de "fiberglass", protegendo o laminado contra a ação das intempéries e umidade, conferindo acabamento liso e brilhante em substituição à pintura convencional, ou, servir de base para a aplicação de pintura (primer). Devido a essa complexidade e também por ser muito visível, e aparente, o gelcoat é responsável pela grande maioria dos problemas encontrados na laminação. (IBEX, 2011, p. 3)

2.1.4.1. Composição

Os tipos de *gelcoats* mais utilizados são à base de resina poliéster orto-ftálica e iso-ftálica. A resina orto é produzida a partir de um ácido di-básico, sendo este um ácido saturado; um ácido básico insaturado, como anidrido maleico e ácido fumárico; e um glicol (como propileno glicol, etileno glicol, dietileno glicol, dipropilenoglicol e neopentilglicol). O gelcoat orto-ftálico possui suas ligações éster formadas entre o componente ácido (ácidos dibásicos, saturados e insaturados) e o componente glicol (ISHINO, 1998).

A tabela 2.3 relaciona os componentes do *gelcoat* ortoftálico com as características alcançadas pelas mesmas.

Tabela 2.3 Componentes do *gelcoat* ortoftálico e suas características.

Matéria-prima	Características
Anidrido Ftálico	Elevação da resistência a tração e distorção.
Ácido Fumárico	Reatividade mais elevada, alta temperatura de distorção, maior rigidez.
Ácido Adípico	Flexibilidade a dureza, resistência, resistência ao choque.
Anidrido Tetracloroftálico	Alta temperatura de distorção
Anidrido Tetrahidroftárico	Auto - extingüível.
Propileno Glicol	Resistência a água, flexibilidade e compatibilidade com estireno.
Dipropileno Glicol	Flexibilidade e dureza.
Etileno Glicol	Resistência à tração e a temperatura elevadas.
Estireno	Reatividade elevada, boa temperatura de distorção.
Vinil-Tolueno	Baixa volatilidade, melhor flexibilidade, elevada reatividade.

Fonte: Adaptado de ABMACO, 2008, p. 91

2.1.4.2. Defeitos

A falta de qualidade do material ou falta de qualidade da aplicação proporciona uma ocorrência de uma série de defeitos no *gelcoat*. O ideal seria uma uniformidade em toda a superfície do revestimento, no entanto, isso dificilmente ocorre. O que de fato ocorre é uma camada irregular que possui um catalisador mal aplicado, com a cura ocorrendo de maneiras diferentes sobre a cobertura, causando, assim, problemas de tensão, aberturas de fissuras e uma aparência ondulada. (SHENOI; WELLICOME, 1993). Tudo isso, entre outras ocorrências podem acarretar numa má qualidade da peça laminada.

Os problemas relacionados ao *gelcoat* estão listados na tabela 2.4, que expõe os defeitos e as causas provenientes da etapa de laminação.

Tabela 2.4 Tabela de problemas com *gelcoat*.

DEFEITO	CAUSA
Enrugamento	<i>Gelcoat</i> muito fino
	Cura insuficiente
	Contaminação por solvente
	Pouca quantidade de catalisador MEKP
	Temperatura de aplicação baixa
Porosidade	Muita quantidade de catalisador MEKP
	Deposição de <i>gelcoat</i> muito rápida
	Contaminação
Amarelamento	Catalisação incorreta
	Baixa dispersão de catalisador MEKP
	Contaminação da cera desmoldante
	Contaminação do monomero de estireno
	Primeira camada de fibra rica em resina
Fissuras e trincas	Espessura de <i>gelcoat</i> muito alta
	Baixa adesão entre <i>gelcoat</i> e o laminado
	Laminado pouco resistente
	Muito esforço na desmoldagem
	Formulação muito rígida do <i>gelcoat</i>
Desmoldagem prematura	Muito catalisador MEKP
	<i>Gelcoat</i> curado há muito tempo sem molde de laminação
Escorrimento	Muita quantidade de <i>gelcoat</i>
	baixa dispersão de agente tixotrópico
	Muito solvente na formulação do <i>gelcoat</i>
	Contaminação da cera desmoldante
Bolhas	Proporção incorreta e mistura não uniforme do catalisador
	<i>Gelcoat</i> curando há muito tempo sem molde de laminação
	contaminação de óleo ou umidade na rede de ar comprimido
	Baixa qualidade na resina de poliéster
Falta de brilho	Molde em mau estado de conservação
	<i>Gelcoat</i> com baixo grau de cura
	Sistema de preparação do molde e cera com baixa qualidade

Fonte: Adaptado de Nasseh (2011, p. 125).

Para que o *gelcoat* possua um bom acabamento, e ainda minimize a chance de alguma falha, ele precisa estar dentro de uma faixa de espessura recomendada. De acordo com Fort (2008) a faixa de espessura recomendada varia entre 0,6 a 0,8 mm. O controle é feito por medidores de espessura como o indicador de filme molhado. As espessuras mais baixas que 0,6 mm permitem que a difusão da água para o laminado seja mais rápida. Espessuras muito elevadas ocasionam um amarelamento precoce, porosidade e trincas.

Uma das funções principais do *gelcoat* é ser uma barreira entre a água e o barco, evitando hidrólise, e subsequentemente outras falhas. Mas, os revestimentos de *gelcoat* tradicionais, como ortoftálico, não realizam esta função com satisfação (SEE; ZHANG; RICHARDSON, 2008).

2.1.4.2.1. Osmose

A osmose é um processo físico de passagem da água de um meio, com concentrações diferentes, para outro. Segundo Shenoi, Wellicome (1993), a absorção da água causa, em geral, o aumento do peso de um laminado e a perda de propriedades mecânicas. Estes efeitos macroscópicos causam a deterioração do material e do seu desempenho. No caso de materiais compósitos, a penetração da água, ocorre de duas maneiras: a primeira pela difusão da água passando pela resina e a segunda pelo fluxo capilar através das rachaduras e vazios nas interfaces imperfeitas de fibra-resina. A perda de propriedades mecânicas se deve à plastificação e, por consequência, a perda de rigidez na resina; ao descolamento das tensões nas interfaces do laminado, que é induzido pelo inchamento da resina; e pela pressão osmótica, e ataques químicos que são proporcionados pela água.

A espessura da camada de *gelcoat* é o principal responsável pela permeabilidade de um laminado. Porém, essa permeabilidade do gel, para evitar o acúmulo de água em espaços vazios entre a fibra-resina, deve ser equivalente ou inferior à do laminado. Na maioria das vezes isto é obtido usando um *gelcoat* a base da mesma resina que é usada como matriz do material compósito. Os *gelcoats* mais resistentes para este problema são a base de NPG e os menos resistentes a base do ácido ortoftálico (SHENOI; WELLICOME, 1993).

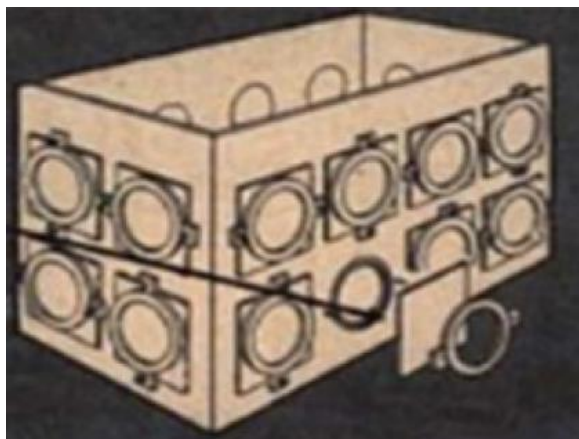
Um fenômeno comum causado pela osmose, em materiais compósitos, é a formação de bolhas na superfície do *gelcoat*. Por ser aplicado no ambiente marinho, o *gelcoat* permanece exposto a água por um longo período de tempo, dado que esta exposição se dá nas

superfícies mais externas dos barcos. As bolhas aparecem na fronteira entre o *gelcoat* e o laminado, como resultado de vazios de ar nas interfaces dentro do laminado (RAJAN; RIIHIVUORI; RAINOSALO, 2014).

Neste contexto, é necessário avaliar a resistência do *gelcoat* quanto à osmose, submetendo-o a um ambiente de envelhecimento acelerado. Este teste depende do uso de um aparelho, que segundo Orro (2008, apud NERCOLINI, 2017 p. 54), além de acelerar o efeito da absorção, criando um envelhecimento acelerado, também permite que as amostras mantenham somente a face com o *gelcoat* exposta a água. A figura 2.3 é o exemplo de Orro.

Segundo Fort (2008), este equipamento foi elaborado como uma exigência de testar a eficácia do *gelcoat* sobre as peças. O mecanismo também teria que comportar vários corpos de prova e ainda reproduzir um ambiente agressivo de forma que pudesse acelerar o processo real. Este mesmo aparelho, para que pudesse proporcionar o ambiente desejado, precisaria ser de um material resistente tanto a temperaturas quanto a corrosão imposta pela água, neste caso o material usado foi aço-inoxidável.

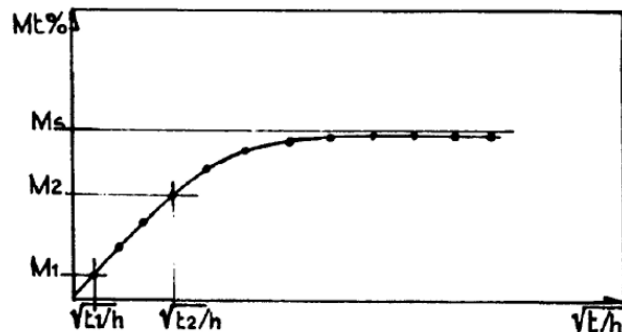
Figura 2.3 aparato de teste de osmose da literatura.



Fonte: ORRO (2008, apud NERCOLINI ,2017 p. 54)

Esta avaliação de absorção de água, ou difusão, nesses tipos de materiais é feita medindo-se a absorção de massa de água, experimentalmente, depois de um período de tempo (SHENOI; WELLICOME, 1993). Na imagem 2.4 mostra uma curva típica de absorção de água em uma peça de material compósito, onde o eixo vertical apresenta a porcentagem de massa que agregou na peça e o eixo horizontal apresenta o tempo da medição.

Figura 2.4 – Exemplo de gráfico de absorção da água em um compósito, relacionando a taxa do aumento de massa em relação ao tempo de experimento.



Fonte: Shenoi e Wellicome (1993), p.

2.1.4.2.2. Amarelamento

O amarelamento é causado na maioria das vezes pela exposição do *gelcoat* à radiação UV. Segundo Shenoi e Wellicome (1993), o amarelamento é a degradação da resina, e não a degradação do pigmento do *gelcoat*, o que nos leva ao fenômeno da escamação. O acabamento de alto brilho, depois que se degrada, desaparece e a superfície fica com outra pigmentação, devido a perda da proteção da pigmentação anterior.

Geralmente a alteração da cor é apenas leve, mas pode se tornar considerável em laminados com *gelcoat* branco. A maioria das resinas contém estabilizadores de UV que reduzem consideravelmente a taxa de amarelamento. O amarelamento causa pouco efeito nas propriedades mecânicas do material. Esse defeito pode ser notado na imagem 2.5 (SHENOI; WELLICOME, 1993).

Figura 2.5 Exemplo de amarelamento em gelcoat



Fonte: IBEX, 2011 p. 18

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Quanto aos procedimentos técnicos, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa realizada é de caráter experimental. Segundo os mesmos autores o experimento possui um objeto de estudo, onde são selecionadas as variáveis, definidas as formas de controle e observação dos seus efeitos. Com base no que foi apresentado, a presente pesquisa tem como objeto de estudo a camada de revestimento denominada *gelcoat*, tendo como variável a espessura desta camada de revestimento, em cada uma das amostras. O controle é realizado através do aparato de Tavares (2016) e, a observação dos efeitos da difusão da água sobre o laminado foi realizada por uma balança de precisão e a degradação superficial verificada via inspeção visual e com auxílio de microscopia óptica.

3.1. MATERIAL

Para a confecção dos corpos de prova, o estudo contou com um determinado número de materiais, conforme descritos na tabela 3.5. As ferramentas que auxiliaram esta montagem formam: estopas, esquadro, solução de limpeza, pinceis e roletes metálicos.

Tabela 3.5 materiais utilizados na confecção dos corpos de prova.

Material	Descrição
Manta de fibra de vidro	Gramatura: 300 g/m ² (CPIC <i>fiberglass</i>)
Véu de superfície	Gramatura: 35 g/m ² (<i>Redelease</i>)
Resina de poliéster	Ortoftálica (Abcol)
Gelcoat	Branco Ortoftálico (Abcol)
Catalisador	MEKP- Peróxido de metil-etil-cetona (Abcol)
Fita crepe	Verde 18mmx40m (Rapifix)
Desmoldante	álcool polivinílico (PVA), incolor (<i>Redelease</i>)
Cola de contato	Multiuso, a base de policloropreno, totuol e cetonas (Amazonas)
Manta térmica refletiva	Tecido Aluminizado de espessura: 0,125Mm (Multifoil Flex)
Placa de vidro	Área: 500x500mm ²

Fonte: Autor.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Preparação dos Corpos de Prova

O objetivo principal da construção de corpos de prova (CP) era certificar-se de que possuísem as espessuras de *gelcoat* desejadas na realização do experimento. Por isso, elaborou-se um padrão de fitas sobrepostas que, além de delimitar a confecção das peças, iriam servir como gabarito para alcançar tais espessuras.

No dia 24 de abril de 2017, no laboratório de metrologia da UFSC – Joinville, foram confeccionados os padrões de fitas com o auxílio de um micrômetro externo analógico 25 a 50mm, da marca Mitutoyo, de resolução 0,001mm (figura 3.1). Para adquirir as desejadas espessuras foram sobrepostas inúmeras quantidades de fitas e sequencialmente medidas com o aparelho. Por fim, a quantidade de fitas sobrepostas foi: 5, 7, 9 e 11 que alcançaram respectivamente as espessuras aproximadas de 0,5mm; 0,6mm; 0,7mm e 0,8mm. Estas peças receberam os nomes correspondentes a quantidade de fitas sobrepostas, ou seja, 5F, 7F, 9F e 11F, respectivamente.

Figura 3.1 Micrômetro usado para medir espessura das fitas.



Fonte: Autor.

A construção dos CPs foi realizada no Laboratório de Fabricação de Modelos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico de Joinville, no dia 25 de abril de 2017. Todas as peças foram laminadas nas condições de temperatura 25°C e 78% de umidade do ar.

O processo de construção das quatro amostras foi realizado de forma similar e simultânea, para minimizar as variáveis de processo. Primeiramente, de acordo com a figura 3.2, foi realizado o corte das fibras de vidro e véu (1 véu de superfície e 2 mantas para cada CP), seguida da limpeza do molde, uma placa de vidro, com solução de limpeza. Uma das partes mais delicadas da preparação foi desenvolver os gabaritos com as fitas que iriam delimitar a laminação das peças e ao mesmo tempo garantir a uniformidade e a espessura de *gelcoat* desejada. Nesta etapa foram demarcados os espaços (160mm x 150 mm) e sobrepostas as fitas crepes verde, conforme a figura 3.3.

Figura 3.2 corte da fibra de vidro utilizada



Fonte: Autor.

Figura 3.3 Preparo do molde de vidro e dos gabaritos de fitas.



Fonte: Autor.

O próximo passo foi a aplicação do agente desmoldante PVA, da marca *Redelease*, sobre as áreas de laminação. O tempo de secagem da película deste desmoldante foi de dez minutos. Posteriormente foi realizada a preparação e aplicação do *gelcoat*, que foi catalisado a 1,5% com o iniciador de peróxido de metil-etil-cetona (MEKP). Por seguinte, foi aplicado o gel sobre a superfície, com o auxílio de pincéis, ao ponto de sobrepor os gabaritos de fitas,

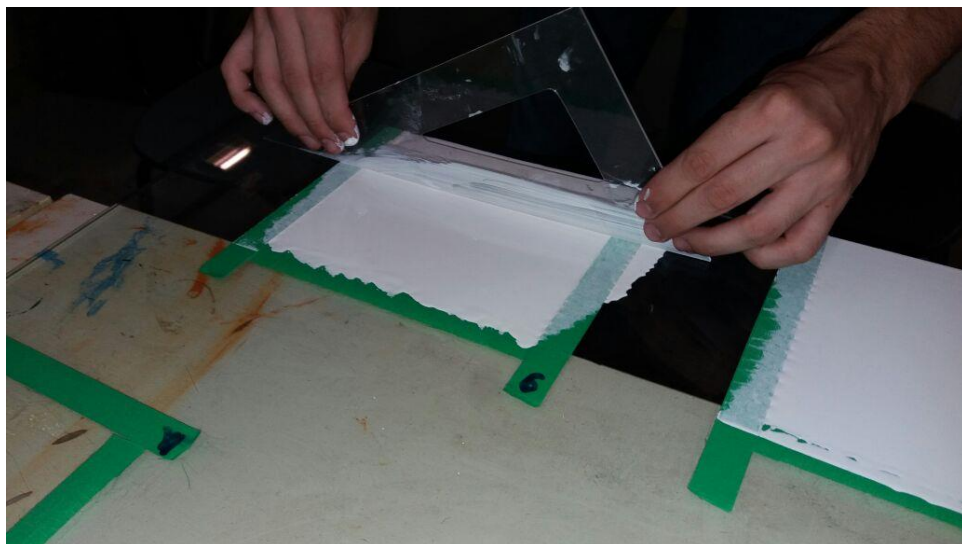
através da utilização de pinceis, conforme observado na figura 3.4. Depois que o *gelcoat* foi acomodado para retirar o excesso, mantendo a camada de gel nivelada com os gabaritos (figura 3.5).

Figura 3.4 Aplicação do *gelcoat*.



Fonte: Autor.

Figura 3.5 Retirada do excesso de *gelcoat* com um esquadro.

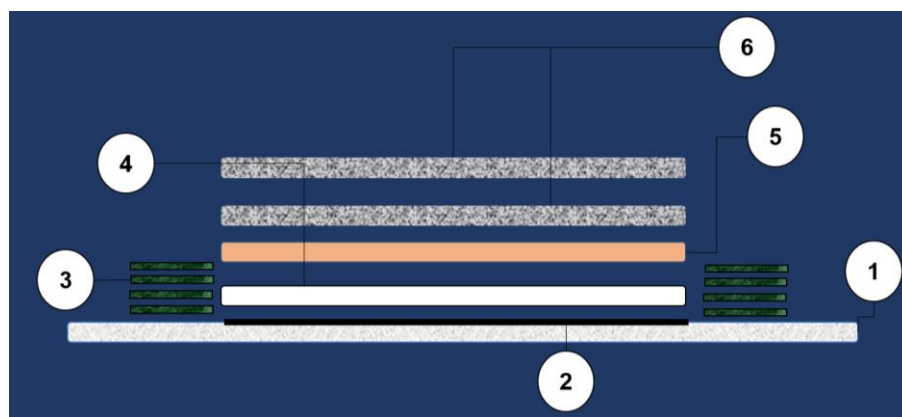


Fonte: Autor.

Depois da cura do *gelcoat* chegar ao ponto de ainda estar pegajoso, preparou-se a resina de poliéster ortoftálica, da marca ABCOL, para a laminação das peças. A porcentagem de MEKP usado foi de 1,25% sobre a massa. A sequência de laminação foi semelhante para todas as amostras e seguiu o padrão da listagem:

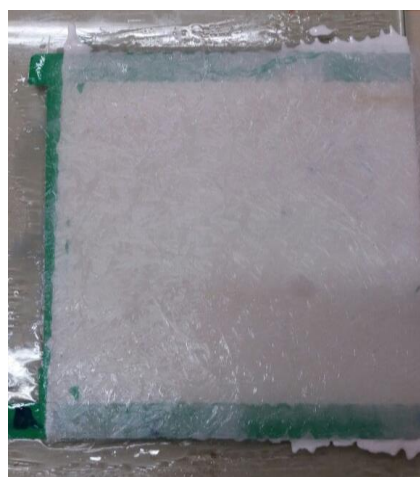
1. Aplicação de resina sobre o *gelcoat*;
2. Acomodação do véu de superfície;
3. Aplicação de resina sobre o véu;
4. Acomodação da 1ª manta de FV;
5. Aplicação da resina sobre a manta;
6. Acomodação da 2ª manta;
7. Aplicação da última camada de resina;
8. Uso de roletes metálicos para retirar bolhas e excessos de resinas;
9. Espera da cura do laminado;
10. Desmolde das peças com cunha de madeira.

Figura 3.6 - Esquema da sequência de laminação: 1. Molde; 2. Desmoldante; 3. Gabarito de fitas; 4. Gelcoat; 5. Véu de superfície; 6. Manta de fibra de vidro.



Fonte: Autor.

Figura 3.7 Uma das amostras laminada completamente



Fonte: Autor.

Depois de dois dias de cura dos compósitos, na temperatura ambiente, no desmolde das peças, pode-se constatar certas características indesejadas nas peças. A amostra 5F apresentou um padrão de rachaduras que perceptivelmente foi acarretado pelo mau uso das cunhas de madeiras durante a desmoldagem. A peça 9F apresentou uma textura fosca, devido ao uso do desmoldante PVA, que corrobora para essa característica.

Para que os CPs pudessem se adequar ao aparelho, foram utilizadas uma esmerilhadeira e uma furadeira para a adaptação. Depois de utilizadas as ferramentas, os corpos de provas apresentaram as seguintes características: área de 140 x 140 mm², com chanfros nas quinas para se adequassem a qualquer balança de precisão, e 4 furos, de diâmetros 3,2mm padronizados, para fixar no aparato de Tavares (2016).

3.2.2. Medição de espessura das amostras

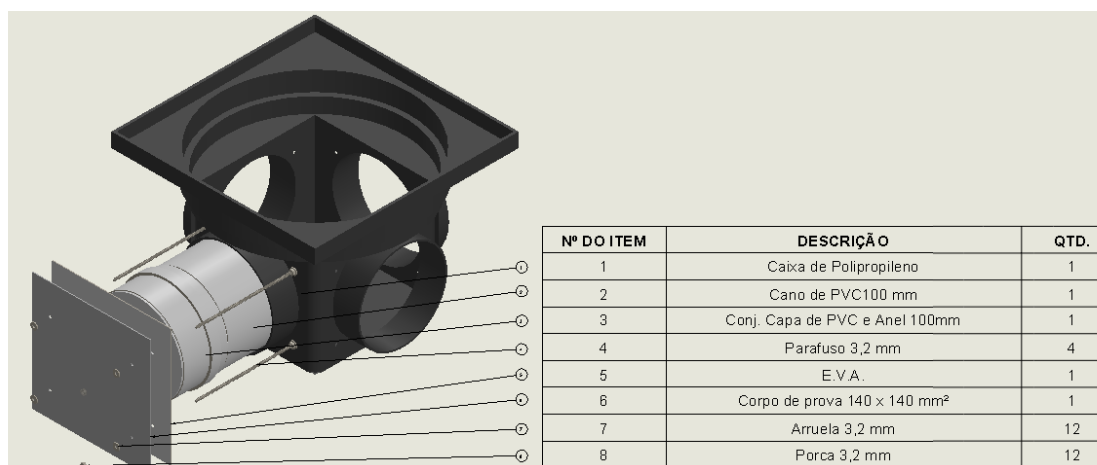
Foram retiradas duas amostras de 40 mm x 10 mm das rebarbas de cada corpo de prova para a medição da espessura da camada de *gelcoat*. Esta medição foi realizada no laboratório de metrologia da Sociedade Educacional de Santa Catarina (SOCIESC), Joinville, em um microscópio de medição GWM (Carl Zeiss), com resolução de 0,001 mm e incerteza de medição de 0,004 mm. Inicialmente a peça foi alinhada ao eixo Y e as medições da espessura realizadas na direção perpendicular, eixo X. Em cada peça foram realizadas 3 medições.

3.2.3. Equipamento de Testes

Para que as avaliações pudessem representar, de um modo simples e adequado, a absorção de água pela peça, foi preciso o uso de um aparelho que pudesse reproduzir um ambiente aquático marinho.

No trabalho em questão, o aparato disponível foi o elaborado por Tavares (2016), conforme figura 3.8, com o objetivo de reproduzir um aparelho parecido com o de Forte (2008), mas de forma menos custosa. Este dispositivo é composto de um material polimérico polipropileno (PP), cuja coloração é cinza, tem capacidade volumétrica de 4,5 litros, possui espaço para 4 corpos de prova de dimensões de projeto 140 x 140 mm, e a máxima temperatura que o componente suporta, segundo a norma de referência NBR8160, é 45°C.

Figura 3.8 Aparato desenvolvido por Tavares (2016).



Fonte: Tavares (2016, p. 47).

3.2.4. Modificação do aparato

Fundamentando no modelo desenvolvido por Tavares (2016), foi realizado um melhoramento do aparato para avaliar a influência da espessura do *gelcoat* na taxa de absorção de água em um laminado através da osmose. Algumas modificações em relação ao equipamento de Tavares (2016) foram o uso de *O'Ring* de vedação (Hennings) de diâmetro 74 mm, ao invés da vedação com acetato-vinilo de etileno (EVA). Além disso foi acrescentada uma bomba de aquário, modelo HBO 300, que possui uma vazão de 200 L/h, para promover uma circulação do fluido no interior, como os aparelhos usuais das empresas e sugerido por Tavares em sua pesquisa.

Outras alterações consideradas importantes são: a fixação do termostato e do aquecedor dentro do aparato e a utilização de placas metálicas, cortadas e furadas, de maneira que se encaixassem no aparelho desenvolvido por Tavares (2016). A figura 3.9 apresenta, de forma numerada, as modificações feitas, onde: 1- a fixação do termostato; 2- a fixação do aquecedor de aquário; 3- posicionamento da bomba de aquário; 4- fixação dos anéis *O'Rins* nas bocas do aparato; 5- posição das placas de metal atrás das amostras.

Figura 3.9 Apresentação das alterações realizadas no aparato.



Fonte: Autor.

3.2.5. Medição de absorção de água através do envelhecimento acelerado

Para realizar o experimento, primeiramente fez-se necessário conhecer o aparelho desenvolvido por Tavares (2016). Uma característica importante, com relação ao aparato, foi de que, a temperatura da água não superasse 45 °C. A água salina utilizada no teste foi retirada, quinzenalmente, da praia de Balneário Camboriú. Por fim, tendo todas as peças posicionadas, deu-se início ao experimento.

Todo experimento foi realizado na UFSC de Blumenau, no laboratório de ensaios mecânicos, utilizando o espaço para o aparato e uma balança de precisão digital da marca Bioprecisa, modelo FA-2104N, que possui uma incerteza de 0,001.

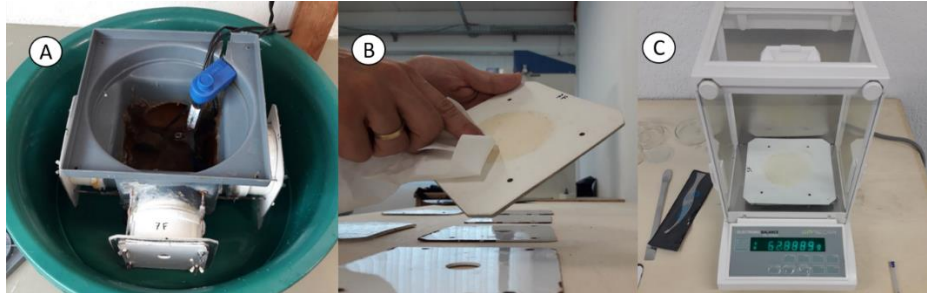
Para quantificar a massa de água absorvida por cada peça, tendo em vista a obtenção de uma diferença no peso das peças, foi preciso ir todos os dias, num período de 20 dias, retirar os corpos de prova da água e pesá-los. Posteriormente, esta frequência de medição, reduziu, gradativamente, para até uma medição semanal, completando 65 dias de medição das peças.

Estas medições seguiram um mesmo padrão do início ao fim, tendo sido executadas da seguinte forma: primeiramente a água do aparato era transferida para outro recipiente; por seguinte, as amostras eram retiradas do aparato e secas com papel toalha; em seguida, a balança era calibrada e a temperatura alcançada era registrada; posteriormente, com a balança devidamente zerada, realizava-se a medição de cada amostra sequencialmente e registravam-se os valores de massa; por fim, as amostras eram realocadas no aparato e o mesmo era preenchido com a água do mar novamente.

Na figura 3.11 a seguir estão apresentadas as etapas do experimento, onde (A) refere-se aos corpos de provas em contato com a água marinha; (B) refere-se a um exemplo de

secagem das gotículas de água superficiais de uma peça; e (C) refere-se a pesagem de um CP na balança de precisão.

Figura 3.10 Sequência de procedimentos do teste de absorção de água



Fonte: Autor.

Assim como foi reportado nos estudos realizados por Carrascal, Casado e Polanco (2005), See, Zhang e Richardson (2008) e Visco, Campo e Cianciafara (2010), os dados obtidos foram tratados de acordo com a equação (1), obtendo a porcentagem de massa (M) do material em relação à massa inicial (peça seca), em função do tempo (t).

$$M(t) = \frac{\text{Massa da amostra úmida} - \text{Massa da amostra seca}}{\text{Massa da amostra seca}} \times 100 \quad (1)$$

3.2.6. Inspeção visual das amostras

Após encerramento dos experimentos, referente ao envelhecimento acelerado, as peças foram limpas e colocadas em um escâner. No escâner foi realizado o processo de digitalização dos corpos de provas. Este processo foi realizado de forma que fosse possível apresentar uma imagem de cada peça, sobre as mesmas condições de iluminação, que demonstrasse o amarelamento aparente na superfície da camada de *gelcoat* das referidas peças em contato com a água marinha.

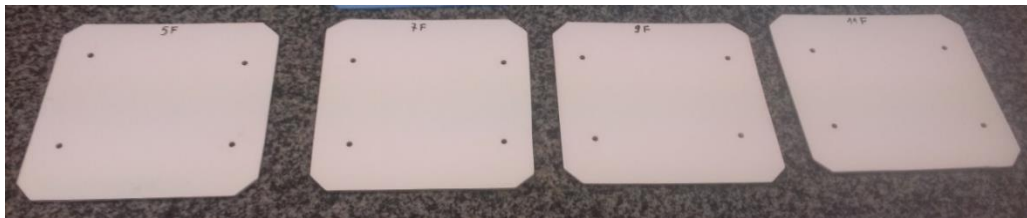
No final dos experimentos foi utilizado um microscópio metalográfico, de platina invertida, da marca Kontrol, modelo IM713. Foram utilizados os aumentos: 5x e 20x vezes.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Diante dos corpos de provas confeccionados, observou-se que os quatro corpos possuíam um acabamento similar ao produzido pela indústria náutica, ou seja, com as características da superfície do molde utilizado. A figura 4.1 demonstra tais características, assim como as peças devidamente preparadas para o encaixe no aparato de Tavares (2016).

Figura 4.1 Corpos de provas já confeccionados



Fonte: Autor.

Para que as amostras, ao serem postas em contato com a água marinha, pudessem ter uma pressão mais uniforme, e não somente nos pontos das presilhas, foram preparadas quatro placas de metal, sendo que cada placa era alocada no aparato de Tavares (2016) posteriormente aos CPs na parte exterior, para que estes fossem pressionados uniformemente. Além das placas de metal, foi colada com cola de contato, atrás de cada CP, uma manta térmica em alumínio para que a resina, ainda não curada, não fosse perdida pelas peças de metal. Tudo isso está demonstrado na figura 4.2.

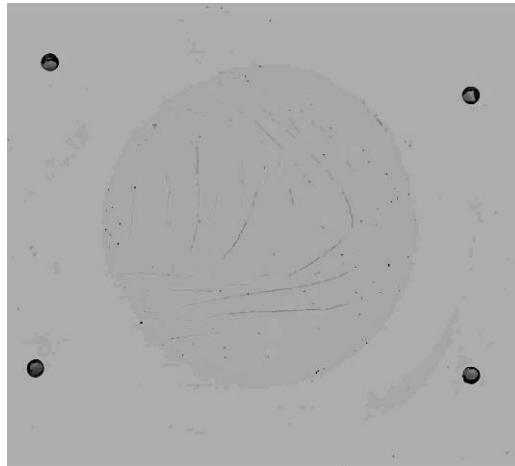
Figura 4.2 CPs com as mantas coladas e cada placa de metal



Fonte: Autor.

Vale ressaltar que, ao desmoldar a peça F5, foi observado que sua superfície (*gelcoat*) continha algumas rachaduras. A rachadura em si possui um padrão típico de um desmolde descuidado, pois, conforme se pode observar na figura 4.3, fica evidente que a cunha de madeira foi a responsável por produzir tal defeito.

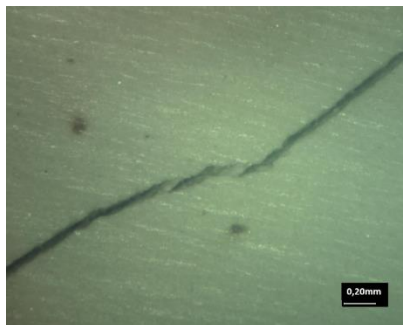
Figura 4.3 apresentação de trincas na peça F5



Fonte: Autor.

Para melhor visualização das rachaduras, foi posicionada a imagem desta peça num microscópio metalográfico. A figura 4.4 retirada do microscópio apresenta rachadura com aumento de 5 vezes.

Figura 4.4 - Rachadura na peça F5 em microscópio; imagem aumentada 5X.



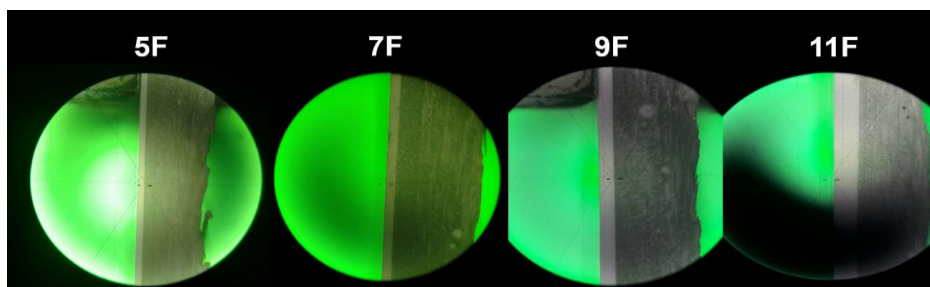
Fonte: Autor.

Diante do fato ocorrido com a peça F5 na desmoldagem, optou-se em dar continuidade ao experimento com este CP e, no decorrer das análises, observar o comportamento da peça e os resultados obtidos com a absorção da água.

4.2. MEDIÇÃO DAS ESPESSURAS

As medições foram realizadas no microscópio de medição GWM, do laboratório de metrologia da SOCIESC. Através deste microscópio as medições alcançaram êxito na apresentação dos seus resultados. Conforme constatado na figura 4.5, das fotos tiradas diretamente do microscópio, pôde-se observar como este método de medição é excelente no propósito de definir cada espessura dos CPs.

Figura 4.5 Fotos retiradas do microscópio de medição das amostras



Fonte: Autor.

Diante do exposto, deu-se início as medições, sendo que cada corpo de prova foi composto de duas amostras retiradas das extremidades, nas produções das peças. Em cada

amostra foram realizadas três medições sequenciais, obedecendo o padrão mínimo aceito pela metrologia. A tabela 4.6 expõe os respectivos resultados das medições.

Tabela 4.6 Apresentação das 3 medições das espessuras para cada amostra e suas respectivas médias.

Amostras dos corpos de provas	Medições das espessuras do <i>gelcoat</i> (mm)			
	1ª	2ª	3ª	Média
F5 – 1	0,222	0,239	0,239	0,233
F5 – 2	0,221	0,216	0,214	0,217
F7 – 1	0,297	0,293	0,291	0,294
F7 – 2	0,319	0,310	0,309	0,313
F9 – 1	0,443	0,440	0,441	0,441
F9 – 2	0,456	0,480	0,455	0,464
F11 – 1	0,720	0,730	0,742	0,731
F11 – 2	0,660	0,695	0,710	0,688

Fonte: Autor.

Através das três medições, realizadas em cada amostra, foi calculada a média das espessuras do *gelcoat*, conforme também apresentado na tabela 4.6. No entanto, para que houvesse uma padronização com relação às espessuras dos corpos de prova, fez-se necessária a realização de um novo cálculo da média, agora, entre as duas amostras de cada CP. A tabela 4.7 demonstra tais resultados com seus devidos desvios padrões.

Tabela 4.7 Média final das espessuras medidas e seus desvios padrões

Amostra	Média final (mm)	Desvio padrão (mm)
F5	0,225	0,012
F7	0,303	0,013
F9	0,453	0,016
F11	0,710	0,030

Fonte: Autor.

De acordo com a tabela 4.7, as espessuras das amostras F5, F7 e F9 obtiveram resultados referentes ao desvio padrão inferiores a 0,02 mm. O que difere do resultado

referente ao desvio padrão da amostra F11, de 0,03 mm, indicando que tal CP não possui uma espessura homogênea no mesmo grau de significância das demais.

O fato do corpo de prova F11 possuir essa não homogeneidade na espessura é, principalmente, pela grande quantidade de sobreposições de fitas, usadas como gabarito, no momento da produção das peças. A sobreposição em grande quantidade gerou um desnível nos gabaritos, proporcionando esta irregularidade.

A tabela 4.8 apresenta a espessura estipulada de cada peça e a espessura obtida nas medições com o microscópio. Pode-se observar que existe uma diferença grande entre a espessura estipulada e a obtida, pois na realização dos gabaritos não foi levado em conta a influência que o desmoldante de PVA causaria na espessura de *gelcoat* das peças. O descuido se deu em decorrência das três camadas de PVA realizadas no processo de utilização do desmoldante, causando tamanha diferença.

Tabela 4.8 Comparação das espessuras estipuladas com as obtidas

Amostra	Espessura estipulada (mm)	Espessura obtida (mm)
F5	0,5	0,2
F7	0,6	0,3
F9	0,7	0,5
F11	0,8	0,7

Fonte: Autor.

Algo a ser considerado também é apresentado por IBEX (2011) onde mostra que a espessura do filme de *gelcoat* molhado é reduzida na cura do material chegando a gerar uma diferença de 0,1 mm do estado líquido para o sólido. Esta diferença ocorre devido à contração dimensional da resina durante o processo de cura.

4.3. TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

Após a montagem do equipamento, deu-se início ao experimento. Em intervalos de tempo definidos, foi realizada a pesagem de massa de cada peça. Os valores medidos estão descritos na tabela 4.9.

Tabela 4.9 Medições de massa das peças em intervalos em dias

Dia	Massa (g)			
	F5	F7	F9	F11
1	63,0160	72,7630	68,7380	72,1930
2	63,0510	72,7740	68,7460	72,2110
3	63,0580	72,7820	68,7690	72,2210
4	63,0620	72,7740	68,7610	72,2380
5	63,0210	72,7202	68,7182	72,2017
6	62,9904	72,7186	68,7030	72,1867
7	63,0064	72,7330	68,7230	72,2412
8	63,0084	72,7000	68,7212	72,1034
9	63,0180	72,7750	68,7017	72,1860
10	62,9455	72,6856	68,6782	72,1410
11	62,9440	72,6798	68,6765	72,1450
14	62,9239	72,6639	68,6700	72,2350
15	62,9213	72,6526	68,6695	72,2052
16	62,9333	72,6872	68,6925	72,1933
17	63,032	72,7127	68,7028	72,2610
18	62,9124	72,6529	68,6678	72,1712
21	62,9234	72,6972	68,6807	72,2231
23	62,9374	72,684	68,6985	72,2341
25	62,9287	72,7008	68,7082	72,2047
28	62,9382	72,7471	68,7146	72,2500
30	62,9230	72,7005	68,7149	72,1532
31	62,9640	72,7180	68,7108	72,1785
35	62,9425	72,7381	68,7300	72,2679
37	63,0008	72,7146	68,7133	72,3300
39	62,9314	72,6997	68,7173	72,2238
42	62,954	72,6994	68,7135	72,2348
46	62,9208	72,6606	68,7068	72,2738
51	62,913	72,6363	68,6915	72,2044
58	62,9385	72,6667	68,7144	72,2007
65	62,8757	72,6660	68,7115	72,2050

Fonte: Autor.

Para melhor avaliar os resultados foram realizados cálculos, através da equação (1) de cada valor da tabela 4.9. Os valores obtidos encontram-se na tabela 4.10, a seguir.

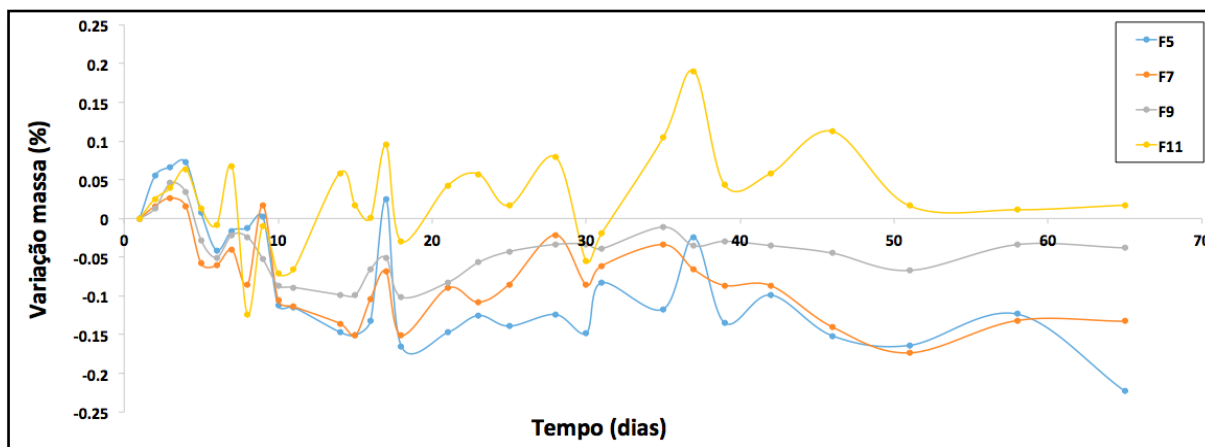
Tabela 4.10 Taxa de absorção de água dos CPs em intervalos em dias

Dia	Percentual de variação da massa			
	F5	F7	F9	F11
1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,011	-0,011	-0,033	-0,014
3	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,007	-0,011	-0,012	0,024
5	-0,059	-0,085	-0,074	-0,027
6	-0,107	-0,087	-0,096	-0,047
7	-0,082	-0,067	-0,067	0,028
8	-0,079	-0,113	-0,070	-0,163
9	-0,064	-0,010	-0,098	-0,048
10	-0,179	-0,132	-0,132	-0,111
11	-0,181	-0,140	-0,135	-0,105
14	-0,213	-0,162	-0,144	0,019
15	-0,217	-0,178	-0,145	-0,022
16	-0,198	-0,130	-0,111	-0,038
17	-0,041	-0,095	-0,096	0,055
18	-0,231	-0,177	-0,147	-0,069
21	-0,214	-0,117	-0,129	0,003
23	-0,191	-0,135	-0,103	0,018
25	-0,205	-0,112	-0,089	-0,023
28	-0,190	-0,048	-0,079	0,040
30	-0,214	-0,112	-0,079	-0,094
31	-0,149	-0,088	-0,085	-0,059
35	-0,183	-0,060	-0,057	0,065
37	-0,091	-0,093	-0,081	0,151
39	-0,201	-0,113	-0,075	0,004
42	-0,165	-0,113	-0,081	0,019
46	-0,218	-0,167	-0,091	0,073
51	-0,230	-0,200	-0,113	-0,023
58	-0,190	-0,158	-0,080	-0,028
65	-0,289	-0,159	-0,084	-0,022

Fonte: Autor.

A partir dos dados da tabela 4.10, foi realizada a construção do gráfico, conforme consta na imagem 4.6, que demonstra a variação da massa das peças no decorrer do tempo da análise.

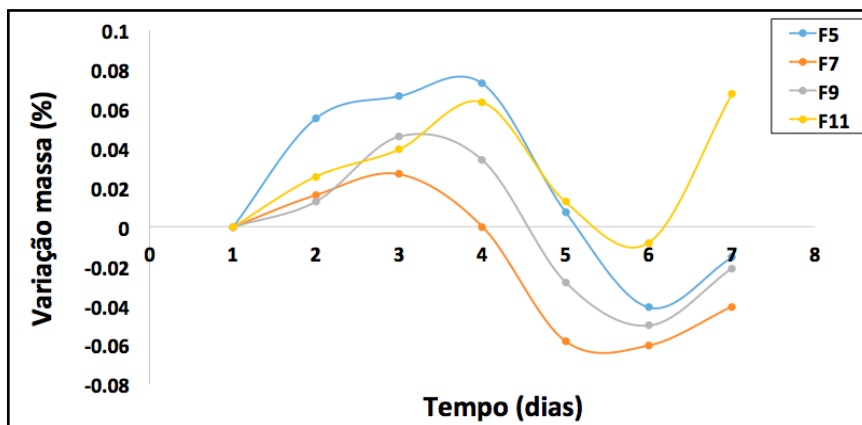
Figura 4.6 Gráfico global do teste de absorção de água



Fonte: Autor.

Em conformidade com o que foi enfatizado por diversos estudos, o coeficiente de absorção de água por materiais compósitos é um ponto crucial (CARRASCAL; CASADO; POLANCO, 2005). Inicialmente, nos primeiros quatro dias, observou-se um aumento na massa das peças (figura 4.7), devido à rápida penetração de água no *gelcoat*. Porém, as taxas de absorção foram pequenas e apresentaram variações irregulares, em decorrência da presença do véu de superfície, que proporciona uma camada extra de resina, impedindo consideravelmente a permeabilidade da água. Além disso, a água estava em uma temperatura abaixo do ideal, pois o aparato não suportava maiores temperaturas, o que acarretou em uma baixa penetração da água na peça.

Figura 4.7 Gráfico local da primeira semana de medição de absorção de água



Fonte: Autor.

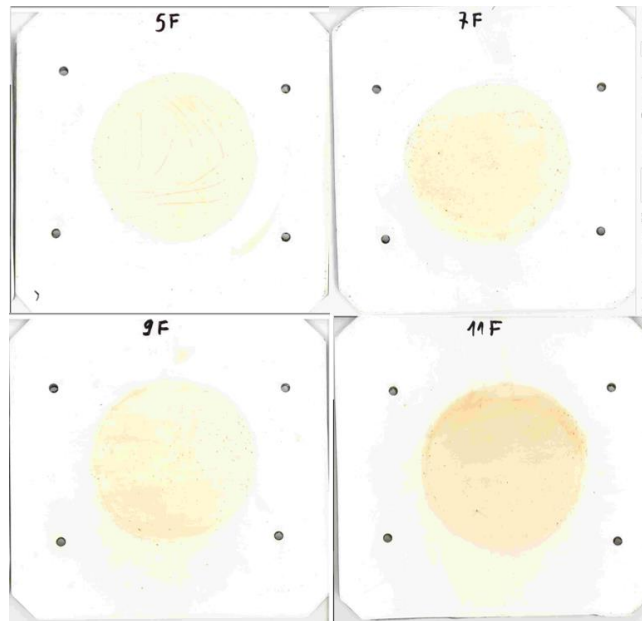
Ademais, também podem ser observados vários pontos negativos, tais como a diminuição de massa das amostras, indicando uma suposta degradação ou até mesmo volatilização do estireno presente no gelcoat, fato evidenciado a partir do dia quatro. Os mecanismos mais comuns de degradação que ocorrem durante a imersão a longo prazo na água do mar são: plastificação, hidrólise, formação de bolhas e degradação interfacial das matrizes (VISCO; CAMPO; CIANCIAFARA, 2010). Estima-se que, após a absorção da água, o polímero pode ter sido decomposto quimicamente e solubilizado. Desse modo, houve a quebra da parte mais pesada da matriz, lixiviação para a solução e substituição por água, levando a diminuição na massa do compósito (SEE; ZHANG; RICHARDSON, 2008).

Vale ressaltar que a presença das rachaduras do *gelcoat* na peça F5, não demonstraram facilitar a absorção de água no laminado.

4.4. AMARELAMENTO

Com o trabalho de escaneamento dos CPs, colocando-os nas mesmas condições, foi possível comparar a relação entre cada peça e suas degradações superficiais, o amarelamento. A figura 4.8 apresenta as amostras digitalizadas.

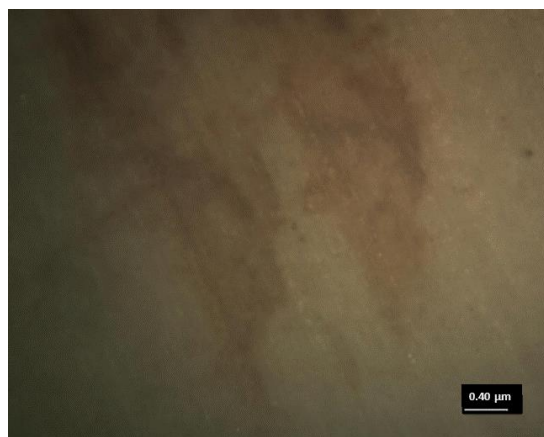
Figura 4.8 Padrão de amarelamento das amostras



Fonte: Autor.

Conforme relatado anteriormente, um dos principais responsáveis pelo amarelamento do *gelcoat* é a incidência de raios UV, porém neste experimento as peças não foram expostas a tal tipo de condição por muito tempo. No entanto, o que pôde ser observado, durante o teste de osmose, foi que há, possivelmente, uma degradação superficial acontecendo pelos mesmos motivos já citados no tópico 4 – Teste de Envelhecimento Acelerado, proporcionando o fenômeno de escamação. (SHENOI; WELLICOME, 1993). Através do microscópio metalográfico, a figura 4.9 a seguir apresenta um exemplo de amarelamento na superfície da amostra F7 que foi aumentada 20 vezes.

Figura 4.9 - Mancha de amarelamento aumentado 20X no microscópio



Fonte: Autor.

Vale ressaltar a presença de óxido de ferro (Fe_2O_3) na água, que, conforme consta na figura 4.10, passou a ter uma coloração marrom no meio aquoso. Logo, o amarelamento que surgiu na superfície pode ter uma relação considerável com esse óxido, pois é perceptível nas pequenas fissuras das peças a presença dos dejetos de Fe_2O_3 .

Figura 4.10 Presença do óxido de ferro na água marinha



Fonte: Autor.

O padrão do amarelamento seguiu de maneira crescente, ou seja, quanto maior a espessura de *gelcoat* mais amarelada ficou a peça. Este resultado corrobora com o que foi descrito por Fort (2008), de que, espessuras mais elevadas tendem a amarelar com mais intensidade.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal colocar CPs, de laminado, com diferentes espessuras de *gelcoat*, em um ambiente de envelhecimento acelerado, proporcionado pelo aparato de Tavares (2016). Possibilitando assim, avaliar a absorção de água em diferentes espessuras de *gelcoat*.

Neste sentido, para se alcançar o objetivo principal do presente estudo, julgou-se necessário apresentar as conclusões relacionando-as a cada um dos objetivos específicos, conforme segue:

- Estabelecer um método para reproduzir uniformemente a espessura de *gelcoat* desejada nas amostras.

O método elaborado foi a criação de gabaritos através da sobreposição de fitas do tipo crepe verde. Com este método, embora não tenha levado em conta a influência do filme de PVA na obtenção da espessura final de *gelcoat*, os resultados obtidos foram significativamente uniformes para este trabalho, conforme comprovados pelo microscópio de medição GWM.

- Melhorar a performance do aparato desenvolvido por Tavares (2016).

Para que o teste de envelhecimento alcançasse as condições necessárias através da utilização do aparato, foram realizadas algumas melhorias, tais como:

- 1) O incremento de uma bomba de motor submersa para que a água estivesse em constante movimento.
- 2) A fixação do termostato e aquecedor de aquário no aparato, com o intuito de selar a tampa do equipamento.
- 3) A substituição da vedação por EVA pela vedação por Anéis O'Ring, proporcionando um contato com a água semelhante em todas as peças.
- 4) A confecção de placas de metal para proporcionar uma pressão uniforme das peças no aparelho, impedindo o empenamento das amostras.

- Quantificar a massa de água adquirida pela peça em função do tempo de experimento.

Diferentemente dos resultados obtidos pela literatura, o que de fato ocorreu neste trabalho foi um antagonismo entre os fenômenos ocorridos: a absorção de água, que proporciona o aumento na massa das peças e a suposta degradação do polímero do *gelcoat* ou

volatilização do estireno, que causam a diminuição das massas. Tudo isso pode ter mantido a amostra em um estado de variação aleatória entre aumento e diminuição da massa.

Contudo, se formos colocar o eixo da taxa de massas com os valores encontrados nos trabalhos de See, Zhang, Richardson (2008), Carrascal, Casado, Polanco (2005) ou Rajan, Riihivuori, Rainosalu (2014), que apresentaram aumentos de massa de até 8%, os resultados do gráfico deste trabalho apresentariam os valores do eixo Y quase como constantes, mostrando que não houve mudança significativa nas massas das peças submetidas ao presente experimento. Diante do exposto, tais resultados não permitem conclusões concretas no que se refere a influência da espessura do *gelcoat* no presente experimento. Ou mesmo, que as espessuras testadas não apresentaram significativas diferenças entre elas, no que se trata em absorção de água.

- Inspeção visual da qualidade das amostras após o ensaio.

O amarelamento é a degradação da superfície do material e o seu principal responsável é, de acordo com a literatura de Sheno e Wellicome (1993), a incidência dos raios UV. No entanto, a proposta do trabalho não incluía a exposição a esta radiação. Apesar disto, as características do amarelamento foram detectadas nas peças, o que corrobora com as afirmações de Fort (2008), em que, quanto maior a espessura do revestimento, maior será a intensidade do amarelamento.

Neste contexto, pode-se concluir que a exposição das peças, a um ambiente de envelhecimento acelerado, também influencia no surgimento desta coloração indesejada, dado que, tais fatores de degradação, que caracterizaram a avaliação quanto a absorção de água, também provocam consideravelmente esta característica de perda de pigmentação.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para estudos futuros os seguintes pontos:

- Aprimorar o método para reproduzir uniformemente a espessura de *gelcoat*.
- Modificar o aparato desenvolvido por Tavares (2016), fazendo com que tal aparelho obtenha um desempenho similar ao encontrado na indústria.
- Realizar uma avaliação da profundidade da degradação do *gelcoat*.
- Estabelecer uma forma científica de comparação do amarelamento nas peças.

REFERÊNCIAS

- BANAS, F., Guia do Plástico reforçado. São Paulo: Ed. Banas Ltda, 1989. P.172.
- CALLISTER, W. D. Fundamentals of Materials Science and Engineering: Na Integrate Approach. 2. Ed. [S.I]: John Wiley e Sons, Inc., 2005. 702 p.
- CANEVAROLO, S. Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. [S.I.]:Artliber, 2002.
- CARRASCAL, I.; CASADO, J. A.; POLANCO, J. A.. **Absorption and Diffusion of Humidity in Fiberglass- Reinforced Polyamide**. Spain: Universidad de Cantabria, 2005.
- FARIA, Maria Cândida Magalhães de. **Avaliação Dos Efeitos Hidrotérmico Nas Propriedades Mecânicas De Compósitos De PPS/Fibras Conítnuas**. 2008. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- FORTE, M. **Boiler teste hidrolise e blistering**. Área de Materiais Compósitos e Polímeros. São Paulo: COOPMACO, 2008.
- FORTE, Marco Aurélio. **Plásticos Reforçados Com Fibra De Vidro: MANUAL BÁSICODO INICIANTE**. 7. ed. São Paulo: Coopmaco, 2014. 15 p.
- GORNINSKI, Jane Proszek. **Estudo da influência das resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e do teor de cinza volante nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto polímero**. 2002. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- IBEX (Org.). **Gelcolts**. Recife: Norpol, 2011. 19 p.
- ISHINO, Yuichi. **Gelcoat Composition**. US nº 6.476.159 B1, 5 nov. 2002, 10 fev. 1998.
- LIMA, Gilmar. **Compósitos 2**. São Paulo: Abmaco, 2010.
- MORISSOM, R.; BOYD, R.. **Química Orgânica**. Fund Calouste Gulbenkian, 1990.
- NASSEH, Jorge. **Técnica E Prática De Laminação Em Composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2008. 349 p.
- NASSEH, Jorge. **Manual De Construção De Barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2011. 660 p.
- PISKE, Fabiana. Perda de resistência: o fenômeno hidrólise. **Albany International**, Indaial, 01 out. 2007.
- PREVAL. **Preval Sprayer**. Chicago: Preval, 2016.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 272 p.

RAJAN, R.; RIIHIVUORI, J.; RAINOSALO, E. Effect of viscose fabric modification on the mechanical and water absorption properties of composites prepared through vacuum infusion. **Reinforced Plastics e Composites**. Boras, p. 1416-1429. 2014.

SEE, S. C.; ZHANG, Z.y.; RICHARDSON, M.o.w.. A study of water absorption characteristics of a novel nano-gelcoat for marine application. **Elsevier**. Portsmouth, p. 169-174. nov. 2008.

SHENOI, R.a.; WELLICOME, J. F.. **Composite Materials in maritime structures: Volume 1** Fundamental aspects. Cambridge: Cambridge University, 1993.

TAVARES, Edison Pereira. **Montagem De Um Aparato Experimental Para Testes De Absorção De Água Em Compósitos**. 2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

VISCO, A. M.; CAMPO, N.; CIANCIAFARA, P.. Comparison of seawater absorption properties of thermoset resins based composites. **Elsevier**. Messina, p. 123-130. 9 out. 2010.